I.M.M

Instruments & Methodes De Mesures

CONFORME AU PROGRAMME NATIONAL

4ème Année

Option

Electricité

EDITION 2025



TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES.....**1**

1. Objectifs Généraux du Cours.....1
   - 1.1. Maîtrise des fondements théoriques.....1
   - 1.2. Développement des compétences opératoires.....1
   - 1.3. Acquisition d'une rigueur méthodologique et analytique.....1

2. Compétences Visées.....1
   - 2.1. Maîtrise des concepts métrologiques.....1
   - 2.2. Acquisition des habiletés instrumentales.....2
   - 2.3. Développement de la rigueur méthodologique et analytique.....2

3. Approche Pédagogique.....2
   - 3.1. Articulation Théorie-Pratique.....2
   - 3.2. Développement de la Compétence Diagnostique.....2
   - 3.3. Structuration par Complexité Croissante.....3

PREMIÈRE PARTIE : CONCEPTS FONDAMENTAUX DE LA MESURE ÉLECTRONIQUE.....**4**

a. L'acte de mesurer : une nécessité vitale.....4

b. Grandeur, Unité, Instrument : la trinité du mesureur.....4

c. L'incertitude : la compagne fidèle de toute mesure.....4

d. De l'aiguille au chiffre : l'évolution des outils.....4

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION À LA MÉTROLOGIE ET AU VOCABULAIRE DE LA MESURE....**5**

1.1. Définition et importance de la mesure.....5
   - a. L'étalon ou la fin du chaos.....5
   - A. La mesure : un processus de comparaison.....5

FIGURE 1 : RÉF. IMG ().....**7**

Le processus de mesure illustré par un multimètre et une résistance.....7
   - B. L'importance de la mesure en électronique.....7

FIGURE 2 : RÉF. IMG ().....**10**

Un technicien dépannant une carte mère à l'aide d'un oscilloscope.....10
   - Anecdote du technicien de la SNEL.....10

1.2. Vocabulaire, caractéristiques et classe de précision.....12
   - a. Le langage de la mesure.....12
   - A. Exactitude, Fidélité et Justesse.....13

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 3 : RÉF. IMG () **15**

Comparaison visuelle entre l'exactitude et la fidélité d'une mesure 15

- B. Sensibilité et Résolution 15
- C. La Classe de Précision 16

1.3. Les étalons et la chaîne de traçabilité 18

- a. Le paradoxe de la référence 18
- A. L'étalon : le gardien de la mesure juste 18
- B. La chaîne de traçabilité : la généalogie d'une mesure 18

FIGURE 4 : RÉF. IMG () **20**

Pyramide de la traçabilité métrologique de l'étalon international à l'instrument 20

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 20

CHAPITRE 2 : LES ERREURS DE MESURE ET LEUR CALCUL **23**

2.1. L'inévitabilité de l'erreur de mesure 23

- a. L'imperfection comme règle 23
- A. Valeur Vraie vs. Valeur Mesurée : Le Duel Permanent 23
- B. Les Deux Familles d'Erreurs 23

2.2. Classification des erreurs 25

- a. La quête de la valeur juste 25
- A. Les erreurs systématiques (ou biais) 25

FIGURE 5 : RÉF. IMG (2266-0401-6088) **27**

Visualisation des erreurs systématiques et aléatoires sur une cible de tir 27

- B. Les erreurs aléatoires (ou fortuites) 27
- C. Les fautes (ou erreurs grossières) 28

FIGURE 6 : RÉF. IMG () **30**

Exemple de faute grossière : lecture incorrecte d'un multimètre analogique 30

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 30

2.3. Calcul des erreurs (absolue, relative) et de l'incertitude 32

- a. La quête de la valeur exacte 32
- A. L'erreur absolue : l'écart brut 32
- B. L'erreur relative : la perspective qui change tout 33

FIGURE 7 : RÉF. IMG () **35**

Voltmètre affichant une mesure et sa valeur de référence 35

- C. L'incertitude : l'intervalle de confiance 35

FIGURE 8 : RÉF. IMG () **38**

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Représentation graphique d'une mesure avec son intervalle d'incertitude.....38
- b. La panne du groupe électrogène de l'hôpital de Goma.....38

CHAPITRE 3 : ORGANISATION ET SÉCURITÉ D'UN LABORATOIRE D'ÉLECTRONIQUE.....41

3.1. Les équipements de base du laboratoire.....41
- a. Introduction.....41
- A. Le poste de travail et l'alimentation.....41

FIGURE 9 : RÉF. IMG (1008-9913-1219).....42

Un poste de travail électronique moderne et bien organisé.....42
- B. Les instruments de mesure et de génération.....42

FIGURE 10 : RÉF. IMG (6820-0619-5428).....44

Le duo indispensable : multimètre numérique et générateur de fonctions.....44
- Anecdote : Le transformateur silencieux de Boma.....44

3.2. Règles de sécurité électrique et protection des équipements.....46
- a. L'imprudence qui ne pardonne pas.....46
- A. Principes de base de la sécurité électrique.....46

FIGURE 11 : RÉF. IMG (4208-3984-0943).....48

Posture et gestes de sécurité au poste de travail électronique.....48
- B. Protection des équipements contre les décharges électrostatiques (ESD).....48

FIGURE 12 : RÉF. IMG ().....51

Panoplie des équipements de protection contre les décharges électrostatiques 51
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....51

3.3. Choix de l'équipement pour une manipulation.....53
- a. Le principe de l'adéquation.....53
- A. L'analyse préalable du signal.....53

FIGURE 13 : RÉF. IMG ().....55

Comparaison visuelle entre un multimètre numérique et un oscilloscope de labo.....55
- B. La sélection de l'instrument adéquat.....55

FIGURE 14 : RÉF. IMG ().....57

Détail des calibres et spécifications techniques sur la façade d'un multimètre.....57
- Scénarios et exercices.....57

DEUXIÈME PARTIE : LES INSTRUMENTS DE MESURE ANALOGIQUES.....60

La matérialité de la mesure.....60

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

Le moteur électromagnétique....60
Caractéristiques et précautions d'emploi....60
Une fondation pédagogique et technique....60

CHAPITRE 4 : LE GALVANOMÈTRE À CADRE MOBILE....61

4.1. Principe de fonctionnement....61
- a. Une affaire de force et de rotation....61
- A. L'interaction fondamentale : La force de Laplace....61
- B. La naissance du couple moteur....61

FIGURE 15 : RÉF. IMG ()....64

Structure interne et forces dans un galvanomètre à cadre mobile....64
- C. L'équilibre des forces : La mesure....64
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....65

4.2. Le couple antagoniste et l'équilibre....67
- a. La force de rappel, une loi universelle....67
- A. Le couple antagoniste : la force de rappel....67

FIGURE 16 : RÉF. IMG (5384-2023-4108)....69

Schéma du ressort spiral exerçant un couple de rappel antagoniste....69
- B. L'équilibre des couples et la déviation finale....69
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....71

4.3. Caractéristiques du galvanomètre....72
- a. La carte d'identité de l'instrument....72
- A. La Sensibilité (S) et la Constante (C)....73
- B. La Résistance Interne ()....73
- C. La Classe de Précision....74

4.4. Classe de précision et lecture sur le cadran....76
- a. Le paradoxe de la mesure....76
- A. La Classe de Précision : Le Contrat de Confiance....76

FIGURE 17 : RÉF. IMG ()....79

Symbole de classe de précision sur un cadran de voltmètre analogique....79
- B. Le Calcul de l'Incertitude Absolue....79
- C. La Lecture sur un Cadran Multi-échelles....80

FIGURE 18 : RÉF. IMG ()....82

Aiguille d'un multimètre pointant sur une graduation d'un cadran multi-échelles....82
- Anecdote : La panne du groupe électrogène de l'hôpital de Mbandaka....82

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

CHAPITRE 5 : L'AMPÈREMÈTRE ANALOGIQUE 85

5.1. Le principe du Shunt 85

- a. L'aiguille qui explose 85
- A. Le galvanomètre : un instrument sensible par nature 85
- B. Le shunt : une dérivation pour le courant 85

FIGURE 19 : RÉF. IMG () 87

Circuit de l'ampèremètre avec shunt en parallèle du galvanomètre 87

- C. Calcul de la résistance de shunt () 87
- SCÉNARIOS ET EXERCICES 88

5.2. Calcul de la résistance du Shunt 90

- a. Le problème de la fragilité 90
- A. Principe du diviseur de courant 90

FIGURE 20 : RÉF. IMG (0030-6813-5935) 91

Schéma de montage du shunt en parallèle avec le galvanomètre 91

- B. Application pratique du calcul 91
- SCÉNARIOS ET EXERCICES 92

5.3. L'ampèremètre multi-calibres 93

- a. D'un seul calibre à plusieurs : une nécessité pratique 93
- A. Principe de fonctionnement par shunts commutables 94

FIGURE 21 : RÉF. IMG (1611-7098-9034) 95

Schéma de principe d'un ampèremètre multi-calibres avec shunts commutés 95

- B. Choix du calibre et précautions d'usage 95

FIGURE 22 : RÉF. IMG () 98

Cadran d'un ampèremètre analogique montrant plusieurs échelles de lecture 98

- L'énigme de la machine à coudre de Maman Alphonsine 98

5.4. Insertion de l'ampèremètre dans un circuit 100

- a. Le principe du passage obligé 100
- A. Le branchement en série : une règle non négociable 101

FIGURE 23 : RÉF. IMG () 103

Schéma de branchement correct de l'ampèremètre dans un circuit simple 103

- B. L'erreur fatale : le branchement en parallèle 103

FIGURE 24 : RÉF. IMG () 106

Schéma de branchement incorrect de l'ampèremètre en parallèle (DANGER) 106

- Scénarios et Exercices 106

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- L'apprenti de Kisangani et la Tshopo....106

CHAPITRE 6 : LE VOLTMÈTRE ANALOGIQUE....109

6.1. Le principe de la résistance additionnelle....109
- a. L'art de la juste proportion....109
- A. Protéger le galvanomètre, une nécessité absolue....109

FIGURE 25 : RÉF. IMG (3556-4313-9267)....110

Schéma de base d'un voltmètre analogique avec sa résistance additionnelle....110
- B. Calcul de la résistance additionnelle ()....110

FIGURE 26 : RÉF. IMG ()....113

Voltmètre multi-calibres avec commutateur et plusieurs résistances additionne....113
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....113

6.2. Calcul de la résistance additionnelle....115
- a. Le défi de l'extension de mesure....115
- A. Principe de l'extension de calibre....116

FIGURE 27 : RÉF. IMG ()....118

Schéma de principe d'un voltmètre avec sa résistance additionnelle en série....118
- B. Détermination de la résistance additionnelle ()....118
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....119

6.3. Le voltmètre multi-calibres....121
- a. Le choix du bon filet....121
- A. Architecture interne : les résistances additionnelles en série....121
- B. Le commutateur : le sélecteur d'échelle....121

6.4. Insertion du voltmètre dans un circuit....123
- a. Le paradoxe de l'observateur électrique....123
- A. Le branchement en dérivation (parallèle)....123
- B. L'impédance d'entrée et l'effet de charge....124

CHAPITRE 7 : L'OHMMÈTRE ANALOGIQUE....127

7.1. Principe de la mesure de résistance....127
- a. Mesurer l'invisible....127
- A. La conversion indirecte : un ampèremètre modifié....127

FIGURE 28 : RÉF. IMG ()....129

Schéma de principe simplifié d'un ohmmètre analogique de type série....129
- B. L'échelle inversée et le calibrage du "zéro"....129

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 29 : RÉF. IMG () **131**

Cadran typique d'un multimètre analogique montrant l'échelle des Ohms (Ω) 131

- L'œil du vieux technicien 131

7.2. Les montages de l'ohmmètre (série et parallèle) 133

- a. Deux logiques pour une même mesure 133
- A. L'ohmmètre montage série 133

FIGURE 30 : RÉF. IMG () **136**

Schéma de principe d'un ohmmètre analogique à montage série 136

- B. L'ohmmètre montage parallèle 136
- SCÉNARIOS ET EXERCICES 137

7.3. Utilisation et limitations de l'ohmmètre 138

- a. La règle d'or du technicien 138
- A. La procédure de mesure : une discipline de fer 139
- B. Les limitations intrinsèques de l'ohmmètre analogique 139

TROISIÈME PARTIE : LES INSTRUMENTS DE MESURE NUMÉRIQUES **142**

De l'aiguille au chiffre : la rupture technologique 142

Au cœur du système : la conversion analogique-numérique 142

Les avantages concrets de la technologie numérique 142

Les instruments étudiés dans cette partie 142

CHAPITRE 8 : PRINCIPE DE LA MESURE NUMÉRIQUE ET DE L'AFFICHAGE **143**

8.1. La chaîne de mesure numérique 143

- a. L'illusion de la précision absolue 143
- A. Anatomie d'un instrument numérique 143

FIGURE 31 : RÉF. IMG () **145**

Schéma synoptique simplifié d'une chaîne de mesure numérique moderne 145

- B. Les Blocs Fonctionnels Essentiels 145
- SCÉNARIOS ET EXERCICES 146

8.2. Le processus de conversion analogique-numérique 147

- a. Du monde réel au monde des machines 147
- A. Les trois temps de la conversion 148

FIGURE 32 : RÉF. IMG () **150**

Schéma du processus de conversion analogique-numérique avec ses trois étapes 150

- B. Erreur de quantification et résolution 150

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 33 : RÉF. IMG () **153**

Comparaison d'une quantification sur 3 bits et sur 4 bits 153

- L'art de la traduction 153

8.3. Les afficheurs à 7 segments 155

- a. L'énigme des chiffres lumineux 155
- A. Anatomie et principe de fonctionnement 155

FIGURE 34 : RÉF. IMG () **157**

Schéma d'un afficheur 7 segments avec ses segments étiquetés 157

- B. Les deux familles : Anode commune et Cathode commune 157
- SCÉNARIOS ET EXERCICES 159

8.4. Résolution et nombre de points 160

- a. La finesse de la mesure 160
- A. Résolution d'un voltmètre numérique 160
- B. Nombre de points et afficheurs 162

FIGURE 35 : RÉF. IMG () **164**

L'affichage d'un multimètre 3 ½ digits et sa signification 164

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 164

CHAPITRE 9 : LE MULTIMÈTRE NUMÉRIQUE (DMM) **167**

9.1. Présentation et ergonomie 167

- a. Le besoin de quantifier 167
- A. Anatomie d'un Multimètre Numérique 167

FIGURE 36 : RÉF. IMG () **169**

Vue d'ensemble et composants principaux d'un multimètre numérique standard 169

- B. Les zones fonctionnelles du sélecteur 169

FIGURE 37 : RÉF. IMG () **171**

Détail des zones de fonction sur le sélecteur rotatif du multimètre 171

- Scénarios et Exercices 171

9.2. Les fonctions de base (U, I, R) 173

- a. Le couteau suisse de l'électronicien 173
- A. Mesure de la Tension (Voltmètre - V) 173
- B. Mesure du Courant (Ampèremètre - A) 174

FIGURE 38 : RÉF. IMG () **176**

Vue détaillée du sélecteur et des bornes d'un multimètre numérique 176

- C. Mesure de la Résistance (Ohmmètre - Ω) 176

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 39 : RÉF. IMG () **178**

Schémas de branchement pour les mesures de tension, courant et résistance 178

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 178

9.3. Les fonctions avancées (test de diode, continuité) 180

- a. L'au-delà de la tension et du courant 180
- A. Le Test de Continuité 180

FIGURE 40 : RÉF. IMG () **183**

Multimètre en mode continuité testant un fusible de voiture 183

- B. Le Test de Diode 183

FIGURE 41 : RÉF. IMG () **186**

Test d'une diode 1N4007 avec un multimètre numérique 186

- L'artisan et le silence du haut-parleur 186

9.4. Le mode « auto-ranging » 188

- a. Le sélecteur qui réfléchit 188
- A. Principe de fonctionnement 188

FIGURE 42 : RÉF. IMG () **191**

Comparaison d'un multimètre manuel et d'un multimètre à auto-ranging 191

- B. Avantages et limites 191

CHAPITRE 10 : CARACTÉRISTIQUES ET AVANTAGES DES INSTRUMENTS NUMÉRIQUES **194**

10.1. Précision et résolution 194

- a. Le piège de l'affichage numérique 194
- A. La précision : La quête de la valeur vraie 194
- B. La résolution : Le plus petit pas mesurable 194

FIGURE 43 : RÉF. IMG () **197**

Visualisation de la précision et de la résolution avec une cible de tir 197

- SCÉNARIOS ET EXERCICES 197

10.2. Impédance d'entrée et perturbation du circuit 199

- a. L'observateur qui modifie la scène 199
- A. L'effet de charge : le principe 200
- B. L'erreur de mesure induite 200

FIGURE 44 : RÉF. IMG () **202**

Effet de charge d'un voltmètre sur un diviseur de tension 202

- L'artisan et l'invisible courant 202

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

10.3. Lisibilité, robustesse et fonctionnalités avancées (HOLD, MIN/MAX).....205
- a. Du cadran solaire à l'écran LCD.....205
- A. La lisibilité : une affaire de clarté.....205

FIGURE 45 : RÉF. IMG ().....207

Comparaison d'un voltmètre à aiguille et d'un multimètre numérique moderne.....207
- B. La robustesse : un outil pour le terrain.....207
- C. Les fonctionnalités avancées : l'intelligence embarquée.....208

FIGURE 46 : RÉF. IMG ().....210

Gros plan sur les boutons de fonctions avancées d'un multimètre.....210
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....210

ANNEXES.....213

1. Mémento des Symboles d'Instruments de Mesure.....213
- A. Symboles de Nature du Courant et de la Tension.....213
- B. Symboles du Principe de Fonctionnement de l'Organe de Mesure.....213
- C. Classe de Précision.....214
- D. Symboles de Position de Fonctionnement.....215
- E. Symbole de Tension d'Essai d'Isolement.....215
- F. Symboles Complémentaires et Spécifiques.....215

2. Guide de Lecture des Spécifications d'un Multimètre.....216
- A. Caractéristiques Générales et Environnementales.....216
- B. Spécifications de Mesure : Précision et Résolution.....218
- C. Analyse par Fonction de Mesure.....218

3. Tableaux de Conversion d'Unités.....219
- A. Préfixes du Système International (SI).....219
- B. Unités Fondamentales et Dérivées en Électronique.....220
- C. Conversions Logarithmiques : Le Décibel (dB).....221
- D. Conversions Unités Hors-SI Courantes.....222

4. Le Schéma de Câblage pour les Mesures de Base.....223
- A. Mesure de Tension (Voltmètre).....223
- B. Mesure de Courant (Ampèremètre).....224
- C. Mesure de Résistance (Ohmmètre).....225

PRÉLIMINAIRES

1. Objectifs Généraux du Cours

1.1. Maîtrise des fondements théoriques

L'apprenant acquiert une compréhension approfondie des principes physiques et technologiques des instruments. Il identifie les composants d'une chaîne de mesure standard. Il maîtrise les caractéristiques métrologiques fondamentales : précision, fidélité, sensibilité et justesse. La distinction entre erreurs systématiques et aléatoires devient un automatisme intellectuel pour l'analyse critique de toute mesure.

1.2. Développement des compétences opératoires

La compétence opératoire vise la manipulation sécurisée et pertinente des équipements de laboratoire. L'étudiant sélectionne l'instrument adéquat pour une grandeur donnée (tension, courant, fréquence, déphasage). Il effectue les raccordements, les réglages et les configurations de manière autonome sur divers appareils : multimètres, oscilloscopes, générateurs de fonctions et analyseurs de spectre. L'interprétation des affichages, analogiques ou numériques, est réalisée sans ambiguïté.

1.3. Acquisition d'une rigueur méthodologique et analytique

La mesure est une démarche scientifique complète. L'apprenant apprend à formaliser un protocole expérimental simple. Il quantifie les incertitudes de mesure et présente un résultat sous une forme normalisée ($X = x \pm \Delta x$). Cette rigueur permet de valider ou d'invalider une hypothèse technique, de diagnostiquer une panne et de rédiger un compte rendu d'essai structuré et exploitable.

---

2. Compétences Visées

2.1. Maîtrise des concepts métrologiques

Cette compétence valide l'appropriation par l'étudiant des grandeurs électriques et de leurs unités dans le Système International. Il différencie avec rigueur les notions de précision, justesse, sensibilité et résolution d'un instrument. La typologie des erreurs de mesure (systématiques, aléatoires) est

acquise, tout comme les méthodes fondamentales de leur minimisation. Les principes de l'étalonnage et de la chaîne de traçabilité métrologique vers les étalons de référence sont compris.

2.2. Acquisition des habiletés instrumentales

L'étudiant devient apte à sélectionner, connecter et paramétrer les instruments de mesure standards (multimètre, oscilloscope, générateur de fonctions). Il réalise les montages adéquats pour la mesure de tension, courant, résistance, fréquence et puissance. Une attention particulière est portée à l'utilisation experte de l'oscilloscope, incluant les réglages fins et les mesures complexes (déphasage, analyse de signaux non sinusoïdaux). La manipulation sécuritaire des appareils et des circuits sous tension est une composante non négociable de cette aptitude.

2.3. Développement de la rigueur méthodologique et analytique

Au-delà de la simple manipulation, cette compétence forge l'esprit scientifique de l'électronicien. L'étudiant formalise un protocole de mesure complet, de la planification à l'exécution. Il apprend à exploiter statistiquement une série de mesures, à calculer les incertitudes-types et composées, puis à présenter un résultat final conforme aux normes. L'analyse critique des résultats, leur confrontation aux valeurs théoriques et l'interprétation physique des écarts sont systématiquement cultivées.

---

3. Approche Pédagogique

3.1. Articulation Théorie-Pratique

Chaque concept théorique exposé trouve une application directe et immédiate dans une procédure de mesure. L'enseignement associe systématiquement la connaissance fondamentale d'un phénomène électrique à sa mise en œuvre pratique en laboratoire. La maîtrise des instruments de mesure découle de cette dualité permanente. Le savoir est ainsi transformé en savoir-faire technique, vérifiable et quantifiable par l'expérimentation.

3.2. Développement de la Compétence Diagnostique

Les exercices proposés simulent des contextes professionnels concrets, tels que la recherche de panne ou la validation de performance d'un circuit. L'apprenant est méthodiquement guidé pour mobiliser ses savoirs, choisir l'instrument adéquat, appliquer un protocole de mesure et interpréter les

résultats obtenus. La finalité est la construction d'un raisonnement technique structuré, orienté vers la résolution de problèmes réels.

3.3. Structuration par Complexité Croissante

Le parcours pédagogique est organisé de manière incrémentale. Les notions initiales, portant sur des mesures fondamentales (tension, courant continu), préparent l'introduction de concepts plus complexes comme l'analyse de signaux périodiques ou les mesures en haute fréquence. Cette progression graduelle assure l'ancrage durable des compétences. Elle prévient la surcharge cognitive et favorise une assimilation solide des méthodes les plus avancées.

PREMIÈRE PARTIE : CONCEPTS FONDAMENTAUX DE LA MESURE ÉLECTRONIQUE

a. L'acte de mesurer : une nécessité vitale

L'électricité est une force invisible. Sans instruments, un technicien travaille en aveugle. Il ne peut ni vérifier une tension, ni confirmer un courant, ni dépanner un circuit. Mesurer, c'est donner des yeux et des oreilles à l'électronicien. C'est la première compétence qui sépare l'amateur du professionnel, que ce soit pour réparer un groupe électrogène à Mbuji-Mayi ou pour calibrer un émetteur radio à Mbandaka.

b. Grandeur, Unité, Instrument : la trinité du mesureur

Une mesure électronique repose sur trois piliers indissociables. La grandeur physique est l'objet de la mesure (la tension, l'intensité, la résistance). L'unité est le langage commun qui quantifie cette grandeur (le Volt, l'Ampère, l'Ohm). L'instrument est l'outil qui effectue la conversion du phénomène physique en une valeur lisible. Oublier un seul de ces éléments rend toute opération de mesure vide de sens.

c. L'incertitude : la compagne fidèle de toute mesure

La mesure parfaite n'existe pas. Toute valeur obtenue sur un appareil est une approximation de la réalité. Cette différence se nomme l'incertitude. Un bon technicien ne se contente pas de lire un chiffre ; il connaît les limites de son instrument et évalue la marge d'erreur. La fiabilité d'un diagnostic, par exemple sur les installations portuaires de Matadi, dépend de cette lucidité.

d. De l'aiguille au chiffre : l'évolution des outils

Autrefois, le galvanomètre à aiguille était le roi des ateliers. Sa déviation traduisait la valeur d'une grandeur. Aujourd'hui, les multimètres numériques affichent des chiffres clairs avec une grande précision. Cette évolution technologique a simplifié la lecture, mais les principes fondamentaux demeurent. Comprendre le fonctionnement d'un appareil analogique reste essentiel pour maîtriser la science de la mesure dans son ensemble.

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION À LA MÉTROLOGIE ET AU VOCABULAIRE DE LA MESURE

1.1. Définition et importance de la mesure

a. L'étalon ou la fin du chaos

Un des faits les plus importants de l'histoire des sciences est la standardisation des unités. Avant cela, le "pied" d'un marchand de Likasi n'était pas le même que celui d'un charpentier de Matadi. Cette situation rendait le commerce et la construction très hasardeux. Chaque région, chaque corporation avait ses propres références.

La métrologie, science de la mesure, est née de ce besoin d'unifier. Elle établit des règles et des standards universels, comme le mètre, le kilogramme ou la seconde. Ces étalons garantissent que la mesure d'une grandeur donnera le même résultat à Kinshasa, à Paris ou à Tokyo, à condition d'utiliser la bonne méthode.

A. La mesure : un processus de comparaison

Mesurer une grandeur physique, c'est la comparer à une grandeur de même nature, prise comme référence. Cette référence est l'unité de mesure, matérialisée par un étalon. Le résultat de cette comparaison est un nombre, qui exprime le rapport entre la grandeur mesurée et l'étalon.

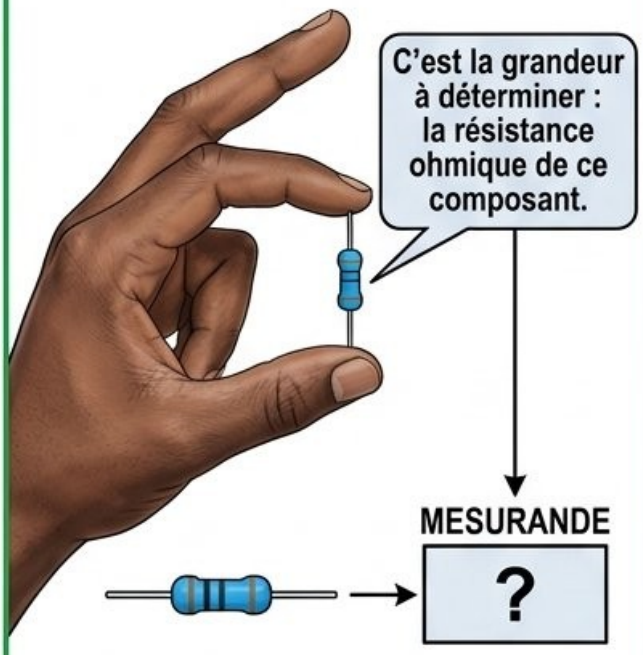
Le résultat d'une mesure s'exprime toujours de la même façon :
$Grandeur = Valeur numérique \times Unité$

Par exemple, mesurer une tension de 5 Volts signifie que la tension mesurée est 5 fois plus grande que la référence "1 Volt". La grandeur est la tension, la valeur est 5, et l'unité est le Volt.

Figure 1 : Réf. IMG (5170-3347-2822)

Le processus de mesure illustré par un multimètre et une résistance

1. Le mesurande



Il s'agit de notre inconnue.

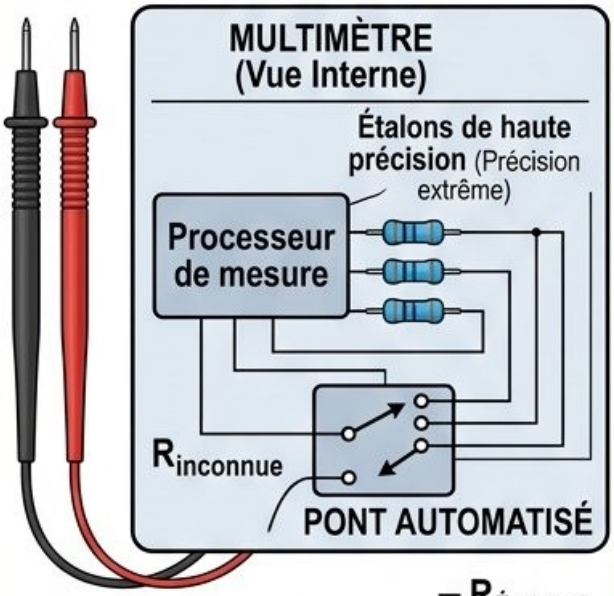
$R_{inconnue}$ (Valeur X)

2. L'instrument



Le multimètre compare l'inconnue à un étalon.

3. L'étalon interne

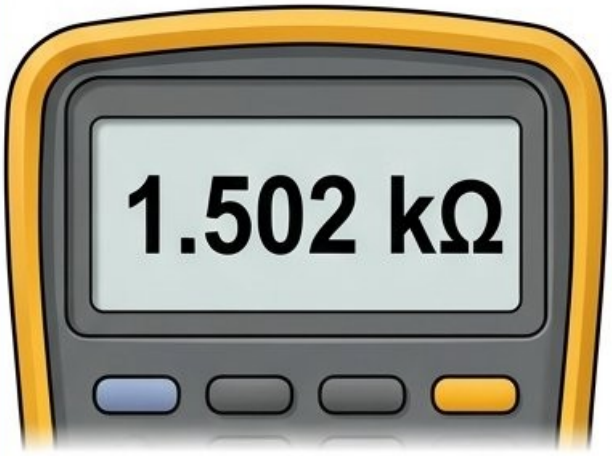


Invisible pour l'utilisateur.

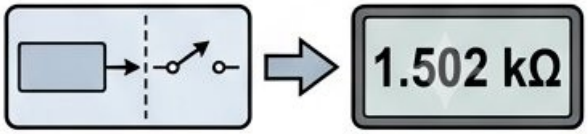
$$X = \begin{cases} R_{Étalon\ 1} \\ R_{Étalon\ 2} \\ R_{Étalon\ 3} \end{cases}$$

L'instrument contient ses propres résistances de référence.

4. Le résultat



Lecture de "1.502 kΩ" : verdict final de la comparaison interne.



L'écran affiche la valeur numérique et l'unité ohmique.

Figure 1 : Réf. IMG ()

Le processus de mesure illustré par un multimètre et une résistance

a. Le mesurande

Le mesurande est la grandeur spécifique que l'on cherche à déterminer. Ici, c'est la valeur ohmique de la résistance. C'est notre inconnue. L'objectif de toute la manipulation est de lui attribuer une valeur numérique et une unité.

b. L'instrument

L'instrument, ici le multimètre, est l'outil qui réalise la comparaison. Il contient en lui des circuits de référence (des étalons internes) et un système d'affichage. Sa qualité et son calibrage déterminent la fiabilité du résultat final.

c. L'étalon interne

Invisible pour l'utilisateur, le multimètre compare la résistance inconnue à des résistances de très haute précision qui lui servent d'étalon. Le processus se fait électroniquement. L'instrument est en quelque sorte un pont automatisé entre l'inconnu et le connu.

d. Le résultat

L'écran affiche la valeur numérique du rapport entre le mesurande et l'étalon. Une lecture de "1.502 kΩ" est le verdict de la comparaison. C'est la seule information visible, mais elle est le fruit de tout ce processus interne.

■ ■ ■

B. L'importance de la mesure en électronique

En électronique, rien ne se fait sans mesure. Elle est indispensable à chaque étape de la vie d'un appareil.

- **Conception :** Le concepteur utilise la simulation et la mesure pour valider ses calculs et s'assurer que les tensions et courants dans le prototype correspondent à la théorie.
- **Production :** Sur une ligne d'assemblage à Maluku, des tests automatiques mesurent les paramètres critiques de chaque appareil pour garantir la conformité au cahier des charges.

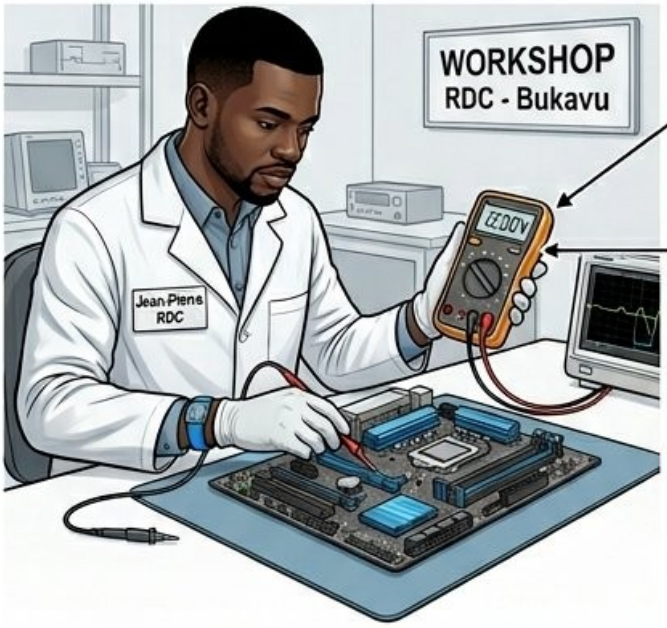
- **Maintenance et dépannage :** Le technicien de Bandundu qui répare une radio utilise son multimètre pour "voir" l'invisible. La mesure de tensions, de courants ou de résistances lui permet de localiser la panne et de remplacer le composant défectueux.

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

9

Figure 2 : Réf. IMG (4569-4962-7967)

Un technicien dépannant une carte mère à l'aide d'un oscilloscope



1. Diagnostic Initial

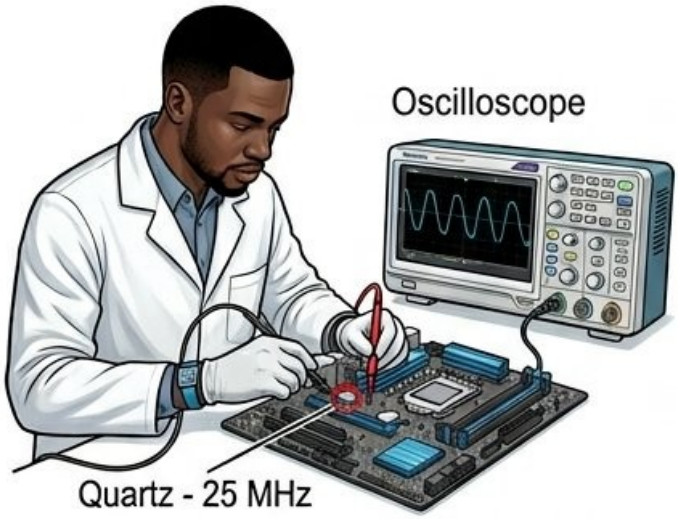
Carte mère ne démarre pas (**Alimentation OK**).
Le problème est **invisible** à l'œil nu.

Processeur inerte (Vcore: 0V).

2. L'Oscilloscope : Visualisation Dynamique

Multimètre (Niveau)		**Oscilloscope** (Signal)
3.3V DC (Valeur Fixe)	vs	Onde Carrée d'Horloge (Signal Dynamique)

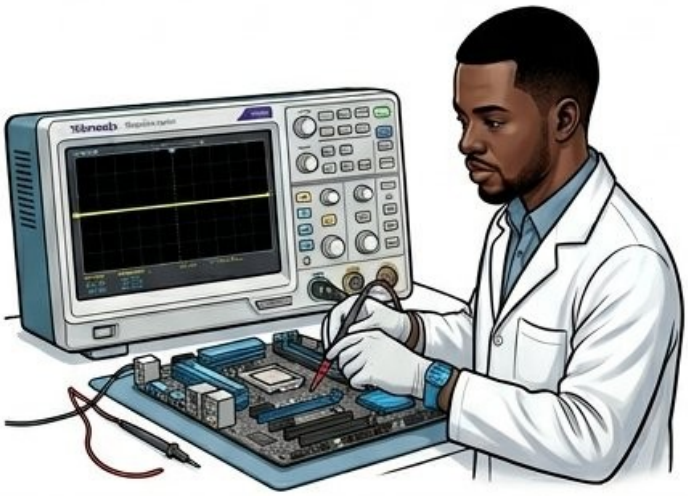
Montre l'**évolution** de la **tension (V)** dans le **temps (t)**.



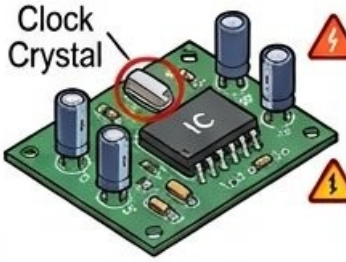
3. Vérification du Point de Mesure

Signal Attendu (Théorique)		**Signal Réel** (Mesuré)
25 MHz	vs	Signal déformé/Faible

Compare le signal mesuré au signal standard d'un circuit d'horloge fonctionnel.



4. Localisation de la Panne



Panne Isolée : Cristal de quartz défaillant.

Absence de Signal d'Horloge (Ligne Plate).

L'écran affiche une ligne plate.
Verdict : Le cristal de quartz ou le circuit d'horloge est défaillant. La mesure cible la cause sans tâtonner.

Figure 2 : Réf. IMG ()

Un technicien dépannant une carte mère à l'aide d'un oscilloscope

a. Le contexte du diagnostic

Un technicien à Bukavu examine une carte mère qui ne démarre pas. Le problème est invisible à l'œil nu. L'alimentation semble fonctionner, mais le processeur reste inerte. La mesure devient son seul guide pour explorer le circuit.

b. L'outil d'investigation

L'oscilloscope est un instrument de mesure puissant. Contrairement au multimètre qui donne une valeur figée, il montre l'évolution d'une tension dans le temps. Il permet de visualiser les signaux, les horloges, les échanges de données qui sont le "sang" du circuit.

c. La comparaison au standard

Le technicien sait qu'un certain point du circuit doit présenter un signal d'horloge (une onde carrée régulière). En y plaçant sa sonde, il compare le signal réel au signal attendu. Un signal absent ou déformé est un indice direct de la panne.

d. Le verdict de la mesure

L'écran affiche une ligne plate là où il devrait y avoir des oscillations. Le verdict est immédiat : le cristal de quartz ou le circuit d'horloge est défaillant. La mesure a permis d'isoler la cause racine du problème sans tâtonner.

Anecdote du technicien de la SNEL

Papa Wemba (pas le chanteur, un homonyme !), technicien à la SNEL de Mbandaka, reçoit un appel d'un client furieux dans le quartier d'Ipeko. Ses ampoules grillent les unes après les autres et son frigo fait un bruit étrange. Le client accuse la "mauvaise qualité du courant". Papa Wemba, calme, arrive avec sa sacoche. Il ne discute pas, il sort son multimètre, un vieux modèle fidèle mais précis. Il plante les pointes dans la prise murale. Le client s'attend à un diagnostic compliqué. L'écran affiche "253 V". Papa Wemba montre le

chiffre au client et dit simplement : "La norme, c'est 220 V. Le problème ne vient pas de vos appareils, mais de la ligne. Le transformateur du quartier délivre une surtension". Une seule mesure a suffi à transformer un client en colère en un citoyen reconnaissant, à identifier le vrai problème et à éviter un potentiel incendie. La mesure, c'est le pouvoir de remplacer l'opinion par le fait.

Exercice 1 : La résistance du Kasaï

Énoncé : Mbuyi, un jeune passionné d'électronique à Mbuji-Mayi, trouve une résistance dont les anneaux de couleur sont : Marron - Noir - Orange - Or. Son multimètre neuf, après mesure, affiche 9.87 kΩ. La résistance est-elle conforme à ses spécifications ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Décoder les anneaux de couleur** En utilisant le code des couleurs standard :
   - Marron : 1
   - Noir : 0
   - Orange : Multiplicateur par 10^3 (ou 1000)
   - Or : Tolérance de ±5%
2. **Étape 2 : Calculer la valeur théorique (nominale)** La valeur nominale est calculée en assemblant les deux premiers chiffres et en appliquant le multiplicateur : $Valeur = 10 \times 1000\,\Omega = 10\,000\,\Omega$ ou $10\,k\Omega$.
3. **Étape 3 : Calculer la plage de tolérance** La tolérance est de 5% de la valeur nominale : $Tolérance = 5\% \times 10\,k\Omega = 0.05 \times 10\,k\Omega = 0.5\,k\Omega$. La valeur réelle doit donc se situer entre $10 - 0.5 = 9.5\,k\Omega$ et $10 + 0.5 = 10.5\,k\Omega$.
4. **Étape 4 : Comparer la mesure à la plage de tolérance** La valeur mesurée par le multimètre est de 9.87 kΩ. Cette valeur (9.87 kΩ) est bien comprise dans l'intervalle [9.5 kΩ ; 10.5 kΩ]. Conclusion : Oui, la résistance est parfaitement conforme.

Exercice 2 : La tension du chargeur à Boma

Énoncé : Nsimba, réparateur de téléphones à Boma, au Kongo Central, reçoit un client se plaignant que son chargeur, pourtant neuf, charge son téléphone très lentement. Le chargeur porte l'inscription "Output: 5.0V / 2.0A". Nsimba décide de mesurer la tension de sortie.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identifier le mesurande et l'attente** Le mesurande est la tension continue (DC) en sortie du chargeur. La valeur attendue est de 5.0 V. Une tension significativement plus basse peut expliquer une charge lente.
2. **Étape 2 : Configurer l'instrument de mesure** Nsimba sélectionne sur son multimètre la fonction "Tension Continue" (VDC, ou V avec un trait plein et des pointillés). Il choisit un calibre supérieur à 5V, par exemple 20V, pour une lecture précise.
3. **Étape 3 : Effectuer la mesure à vide** Il branche le chargeur au secteur et mesure la tension aux bornes de la prise USB sans y connecter de téléphone. Le multimètre affiche 5.15 V. Cette valeur est bonne, le chargeur semble fonctionner correctement à vide.
4. **Étape 4 : Effectuer la mesure en charge et conclure** Nsimba connecte le téléphone du client au chargeur, puis mesure à nouveau la tension (cela demande une petite astuce avec des câbles fins). Le multimètre affiche cette fois 4.30 V. Cette chute de tension importante sous charge est anormale. Elle indique que le chargeur est de mauvaise qualité et incapable de maintenir sa tension quand il doit fournir du courant. Le diagnostic est posé : le chargeur est défectueux.

1.2. Vocabulaire, caractéristiques et classe de précision

a. Le langage de la mesure

Pendant qu'un tailleur à Bandundu coupe un pagne, il utilise un mètre-ruban. Son succès dépend de la fiabilité de cet instrument. Une erreur d'un centimètre peut ruiner le vêtement. En électronique, cette exigence de fiabilité est mille fois plus grande, car les grandeurs manipulées sont souvent invisibles.

Les termes "précision", "exactitude" ou "sensibilité" ne sont pas interchangeables en métrologie. Ils décrivent des qualités distinctes et quantifiables d'un appareil de mesure. Maîtriser ce vocabulaire est la première étape pour interpréter correctement un résultat et garantir la validité d'une intervention technique.

A. Exactitude, Fidélité et Justesse

L'exactitude d'une mesure exprime sa proximité avec la valeur vraie (ou considérée comme telle) de la grandeur mesurée. Un instrument exact donne une valeur moyenne très proche de la valeur de référence.

La fidélité (parfois nommée précision) décrit la dispersion des résultats lors de mesures répétées de la même grandeur sous les mêmes conditions. Un instrument fidèle donne des résultats très proches les uns des autres, même s'ils sont tous éloignés de la valeur vraie.

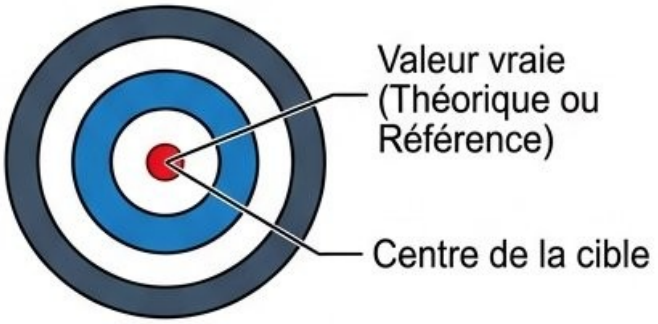
La justesse qualifie l'écart entre la valeur moyenne d'une série de mesures et la valeur vraie. Une mesure peut être fidèle (résultats groupés) mais fausse (loin de la cible). L'idéal est un instrument à la fois juste et fidèle.

Conforme au

Figure 3 : Réf. IMG (5438-2206-7613)

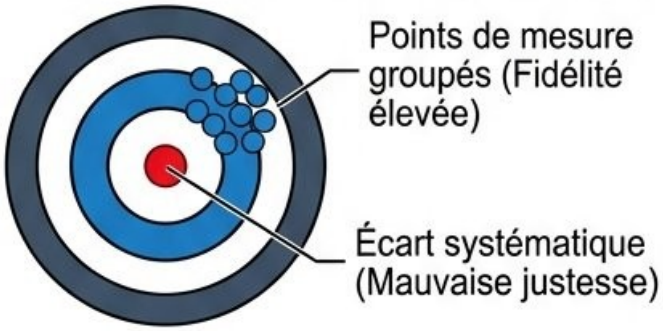
Comparaison visuelle entre l'exactitude et la fidélité d'une mesure.

a. La valeur vraie



Valeur vraie : Cible parfaite, souvent inconnue.
Point central rouge.

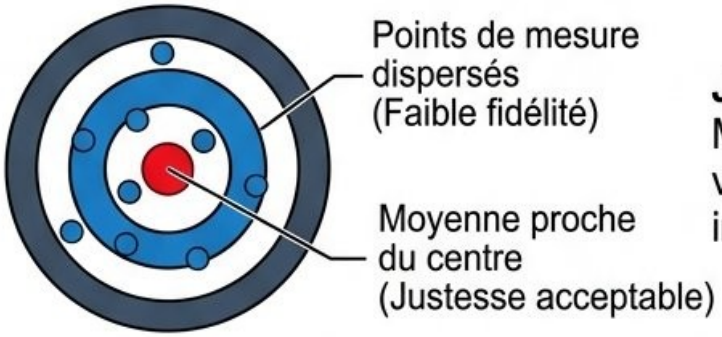
b. Visualisation de la fidélité sans justesse



Fidélité sans justesse : Mesures cohérentes entre elles (groupées), mais toutes fausses (loin du centre).

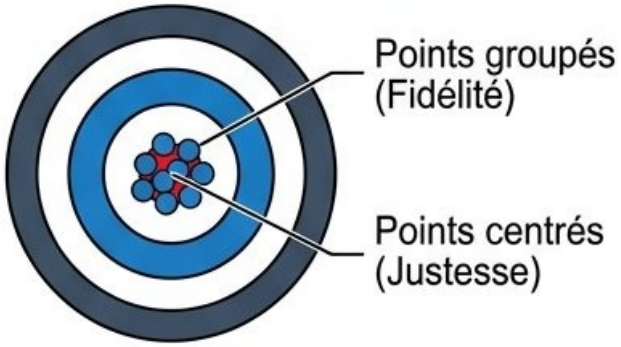
Exemple :	Exemple : Voltmètre affichant 4,8V pour une source de 5V

c. Visualisation de la justesse sans fidélité



Justesse sans fidélité : Moyenne proche de la valeur vraie, mais mesures individuelles très différentes.

d. L'objectif : exactitude (justesse et fidélité)



L'exactitude : Combinaison de Justesse (centrée) et de **Fidélité** (groupée).
L'instrument idéal.

Figure 3 : Réf. IMG ()

Comparaison visuelle entre l'exactitude et la fidélité d'une mesure.

a. La valeur vraie

La valeur vraie est la valeur théorique parfaite, souvent inconnue. En pratique, on utilise une valeur de référence, établie par un instrument étalon beaucoup plus performant. C'est le centre de la cible.

b. Visualisation de la fidélité sans justesse

Un instrument fidèle mais non juste produit des mesures très groupées, mais loin du centre de la cible. C'est le cas d'un voltmètre qui affiche systématiquement 4,8V pour une source de 5V. Les mesures sont cohérentes entre elles, mais erronées.

c. Visualisation de la justesse sans fidélité

Un instrument juste mais non fidèle produit des mesures dont la moyenne est proche du centre, mais qui sont très dispersées. Chaque mesure est très différente de la précédente, rendant l'instrument peu fiable pour une mesure unique.

d. L'objectif : exactitude (justesse et fidélité)

L'instrument idéal est à la fois juste et fidèle. Toutes les mesures sont groupées et centrées sur la valeur vraie. C'est le but recherché pour tout instrument de qualité.

B. Sensibilité et Résolution

La sensibilité d'un instrument est sa capacité à réagir à de très faibles variations de la grandeur mesurée. Mathématiquement, c'est le rapport entre la variation de la grandeur de sortie (l'indication) et la variation de la grandeur d'entrée (la mesure). Une grande sensibilité est requise pour mesurer des phénomènes de faible amplitude.

La résolution est la plus petite variation de la grandeur mesurée que l'instrument peut afficher. Pour un appareil numérique, c'est la valeur correspondant au dernier chiffre (le moins significatif) de l'afficheur. Un

appareil peut être très sensible mais avoir une résolution faible, et inversement.

C. La Classe de Précision

La classe de précision d'un instrument analogique est un indicateur fourni par le constructeur. Elle garantit l'erreur maximale que l'appareil peut commettre, exprimée en pourcentage de la valeur de fin d'échelle (le calibre).

L'erreur absolue maximale (ΔV_{max}) se calcule par la relation suivante :

$$\Delta V_{max} = \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100}$$

Un voltmètre de classe 1,5 utilisé sur un calibre de 300 V a une erreur absolue maximale garantie de $4,5\,\text{V}$ sur toute l'étendue de l'échelle. Cette erreur est constante, que l'on mesure 20 V ou 250 V. L'erreur relative est donc bien plus importante pour les faibles valeurs mesurées.

Leçon tirée de la centrale d'Inga

Papa Kabasele, l'un des techniciens les plus expérimentés de la centrale hydroélectrique d'Inga, dans le Kongo Central, devait vérifier la tension d'un circuit de contrôle critique. Un jeune ingénieur, fraîchement arrivé de Kinshasa avec un multimètre numérique dernier cri, mesura fièrement 24,1 V. Papa Kabasele, souriant, sortit son vieil appareil analogique à aiguille, un modèle de classe 0,5. Il le régla sur le calibre 30 V et l'aiguille se stabilisa parfaitement sur 25 V. "Ton appareil est précis, il te donne beaucoup de chiffres après la virgule", dit-il au jeune homme. "Le mien est exact. Sa classe de 0,5 me garantit une erreur maximale de 0,15 V sur ce calibre. La vraie valeur est donc entre 24,85 V et 25,15 V. Ton appareil a un décalage." Le jeune ingénieur comprit que la confiance en une mesure vient de la connaissance des limites de l'instrument, pas seulement de la modernité de son affichage.

Exercice 1 : Le voltmètre de Maman Hélène

Énoncé : Maman Hélène, une technicienne réputée pour ses dépannages de télévisions à Lubumbashi, utilise son multimètre analogique de classe 2. Elle sélectionne le calibre 10 V pour mesurer la tension aux bornes d'un composant. L'aiguille indique 4 V. Quelle est l'incertitude sur sa mesure ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Calcul de l'erreur absolue maximale** On applique la formule de la classe de précision. L'erreur absolue maximale (ΔV_{max}) est constante pour tout le calibre.

$$\Delta V_{max} = \frac{\text{Classe} \times \text{Calibre}}{100} = \frac{2 \times 10\,\text{V}}{100} = 0,2\,\text{V}$$

2. **Étape 2 : Détermination de l'intervalle de confiance** L'erreur absolue s'applique à la valeur mesurée. La valeur réelle ($V_{réelle}$) se trouve donc dans un intervalle.
$V_{mesurée} - \Delta V_{max} \leq V_{réelle} \leq V_{mesurée} + \Delta V_{max}$
$4\,\text{V} - 0,2\,\text{V} \leq V_{réelle} \leq 4\,\text{V} + 0,2\,\text{V}$ La tension réelle du composant se situe entre 3,8 V et 4,2 V.

Exercice 2 : La balance du cultivateur à Mbandaka

Énoncé : Un cultivateur de café robusta de la région de Mbandaka (Équateur) souhaite vendre sa récolte. Il hésite entre deux balances numériques. La première (Balance A) a une résolution de 10 grammes. La seconde (Balance B) a une résolution de 1 gramme. Pour peser des sacs de 50 kg, la différence semble minime. Mais laquelle doit-il choisir pour vendre de petits échantillons de café rare et cher ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyse de la Balance A (résolution 10 g)** La balance ne peut afficher que des multiples de 10 g (10 g, 20 g, 30 g…). Si le cultivateur place un échantillon de 24 g, la balance affichera soit 20 g, soit 30 g. Il est impossible de connaître le poids exact avec précision.

2. **Étape 2 : Analyse de la Balance B (résolution 1 g)** Cette balance peut afficher des multiples de 1 g (23 g, 24 g, 25 g…). Si le cultivateur place le même échantillon de 24 g, la balance affichera 24 g. La mesure est dix fois plus fine.

3. **Étape 3 : Conclusion et conseil** Pour la vente d'échantillons où chaque gramme a une grande valeur, la résolution est un critère essentiel. Le cultivateur doit impérativement choisir la Balance B pour garantir un commerce juste et précis, tant pour lui que pour son client.

1.3. Les étalons et la chaîne de traçabilité

a. Le paradoxe de la référence

Même si la soif de précision anime chaque électronicien, une mesure isolée ne signifie rien. Affirmer qu'une tension vaut "5" est une information incomplète et inutile. Elle a besoin d'une unité, le volt, mais surtout d'une garantie que ce "volt" est identique pour tout le monde.

Cette valeur a besoin d'une référence universelle, un point de comparaison accepté par tous. Sans ce pilier commun, un volt mesuré à Goma pourrait être différent de celui mesuré à Kananga, rendant toute collaboration technique impossible. L'étalon est ce pilier.

A. L'étalon : le gardien de la mesure juste

Un étalon est la matérialisation d'une unité de mesure, servant de référence suprême. Sa qualité principale est sa stabilité dans le temps et son insensibilité aux conditions environnementales. Les étalons sont organisés selon une hiérarchie stricte de précision et d'usage.

- **L'étalon international** : Il est unique et défini par un accord mondial. Il est conservé par des organismes comme le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).
- **L'étalon national** : Chaque pays ou grande région possède une copie (ou une réalisation) de l'étalon international. C'est la référence pour toute la nation.
- **L'étalon de travail** : C'est l'étalon utilisé dans les laboratoires et les industries pour calibrer les instruments de mesure du quotidien. Il est lui-même périodiquement comparé à un étalon de niveau supérieur.

B. La chaîne de traçabilité : la généalogie d'une mesure

Pour garantir sa fiabilité, une mesure doit pouvoir être rattachée à l'étalon national, et donc à l'étalon international, par une chaîne ininterrompue de comparaisons. Cette filiation documentaire se nomme la chaîne de traçabilité. Elle est la preuve que le multimètre utilisé dans un atelier à Mbuji-Mayi est "connecté" métrologiquement aux références mondiales. Chaque maillon de la chaîne est une opération d'étalonnage.

Conforme au

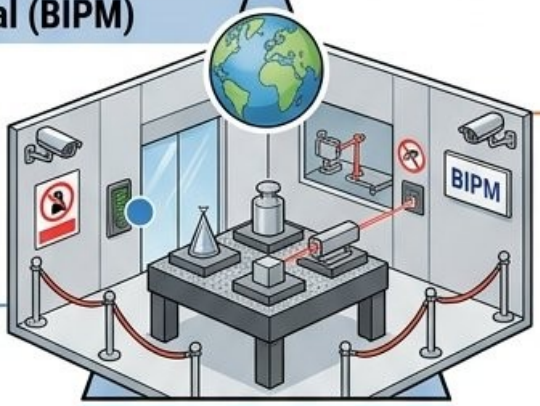
Figure 4 : Réf. IMG (9522-0855-9219)

Pyramide de la traçabilité métrologique de l'étalon international à l'instrument

a. Sommet International (BIPM)

Étalons primaires mondiaux définissant les **unités SI** (Kg, m, s, a instruments avancées: lasers par longueur for longueur, standards for masse, temps, temps, etc.

1 2



1 **Étalons primaires mondiaux** définissant les unités SI (Kg, m, s, A, K, mol, cd). Accès extrêmement restreint.

b. Échelon National





1 Conservent les étalons nationaux.

2 Disséminent la référence sur le territoire.

1 Étalonnage des labos secondaires.

c. Laboratoires d'étalonnage accrédités

Lien essentiel entre les références nationales et l'industrie.

Reçoivent les étalons des entreprises.

1 **Comparaison** aux références secondaires

2 **Délivrance** de certificats



4 **Accreditations** accréditares



d. Instrument de terrain



Voltmètre d'atelier | Balance du marché | Thermomètre d'hôpital

SA JUSTESSE DÉPEND ENTIÈREMENT DE LA SOLIDITÉ DE TOUTE LA CHAÎNE DE TRAÇABILITÉ QUI LE PRÉCÈDE.